



Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Kalibrační postup

KP 1.1.7/02/16

ULTRAZVUKOVÉ TLOUŠŤKOMĚRY

Praha

Říjen 2016

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2016

Číslo úkolu: VII/1/16

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost

Zpracoval: Ing. Richard Silovský

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje ke kalibraci ultrazvukových tloušťkoměrů pro měření tloušťky vrstev kovových materiálů v souladu s návodem výrobce daného ultrazvukového tloušťkoměru.

Kalibrace popsaná v tomto kalibračním postupu se týká jak prvotní kalibrace, popř. vstupní kontroly ultrazvukových tloušťkoměrů v dané organizaci (dále jen PK), tak i recalibrace během používání (dále jen RK).

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[L1]
Příslušenství přístroje	Návod na obsluhu přístroje a technické parametry	[L2]
EA-4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[L3]
EA-4/07	Návaznost měřicího a zkušebního zařízení na státní etalony	[L4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[L5]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L6]
ČSN EN ISO 3650	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Etalony délek - Koncové měřky	[L7]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci ultrazvukových tloušťkoměrů je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly měřidel a souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

4 Názvosloví, definice

Ultrazvukové tloušťkoměry – pracují na podobném principu jako sonar a jsou schopné měřit tloušťku řady materiálů s přesností již od 0,01 mm. Ukazatel měřené hodnoty je zpravidla digitální.

Chyba měření (přístroje) - je algebraický rozdíl mezi indikovanou hodnotou a pravou (skutečnou) hodnotou měřené veličiny (tloušťky materiálu).

Ultrazvuková sonda – je hlavní částí přístroje, která vysílá a přijímá zvukové vlny. Sonda je připojená k přístroji pomocí kabelu s dvěma koaxiálními konektory na koncích. Viz obrázek:



Obrázky č. 1, č. 2 a č. 3: Typy ultrazvukových tloušťkoměrů

Největší dovolená chyba (MPE) – je největší chyba měření dovolená výrobcem měřidla, popřípadě (u opotřebených měřidel) stanovená uživatelem měřidla.

Další pojmy a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), a v publikacích zaměřených na metrologickou terminologii.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení pro kalibraci

- Etalonové koncové měrky se známou středovou délkou a nejistotou, navázané nepřerušným řetězcem na národní etalon,
- čisticí prostředky - čistý benzín, např. lékárenský, vata, optická utěrka,
- mazací a konzervační prostředky - lékárenská vazelína, popř. hodinářský olej,
- vlasový vlhkoměr, navázaný na etalon,
- spojovací tekutina potřebná pro přilnutí sondy na materiál bez vzduchových mezer,
- tělískový teploměr s měřicím rozsahem min (16 až 26) °C s hodnotou dílku stupnice min 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů, navázaný na etalon.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázaná na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace ultrazvukových přístrojů pro měření tloušťky vrstev nebo materiálů a případně kalibrace nastavovacích vzorků se provádí za těchto referenčních podmínek:

- teplota prostředí: (20 ± 2) °C,
- vlhkost vzduchu max. 75% RH (nekorozní prostředí).

Před vlastní kalibrací se přístroj nebo a vzorky umístí alespoň na 1 hodinu do místnosti s referenční teplotou. Relativní vlhkost vzduchu se měří vlhkoměrem před zahájením kalibrace. Účelem sledování vlhkosti je zajistit nekorozi prostředí a zabránit orosení přístroje. Závislost výsledku měření tloušťky vrstev na vlhkosti prostředí není známa, závislost na teplotě považujeme za nepodstatnou.

7 Rozsah kalibrace

- Kontrola dodávky při vstupní kontrole (viz čl. 8.1),
- předběžná kontrola a případná úprava (viz čl. 8.2),
- měření metrologických parametrů (viz kap. 9),
- vyhodnocení kalibrace (čl. 10).

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Převzetí ultrazvukového tloušťkoměru k prvotní kalibraci nebo k re-kalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určeném. Při přebírání ultrazvukového tloušťkoměru se překontroluje, zda typ, evidenční číslo, výrobní číslo a příslušenství ultrazvukového tloušťkoměru (náhradní baterie, seřizovací prvky) odpovídají údajům na objednávce nebo na dodacím listu, dodaném podkladu (evidenční karta, výpis z počítačové evidence měřidel). (RK)

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Při předběžné kontrole měřidla se provede:

- Sejmutí značek, kterými bylo měřidlo opatřeno při předchozí kalibraci (pouze RK),
- zjištění, zda nemá ultrazvukový tloušťkoměr viditelné závady znemožňující kalibraci, funkční sonda, spojovací tekutina,
- případná oprava lehce poškozených částí ultrazvukového tloušťkoměru, výměna baterie,
- celkové očištění ultrazvukového tloušťkoměru lékárenským benzínem, především ultrazvukových sond.

Mají-li poškození takový charakter, že je nelze odstranit uvedeným způsobem, předepíše se ultrazvukový dálkoměr k celkové opravě nebo k vyřazení.

8.3 Příprava měřidla

Měřidlo ultrazvukový tloušťkoměr necháme společně s etalonem koncových měrek v kontrolovaném prostředí na 1 hodinu v laboratoři s referenční teplotou vhodnou ke kalibraci v rozmezí (20 ± 2) °C.

9 Postup kalibrace

9.1 Základní nastavení přístroje

Není-li přístroj správně „vynulován“, budou se všechny naměřené hodnoty lišit o odchylku. Při nulování ultrazvukového tloušťkoměru je nutné nastavit rychlost zvuku, která odpovídá vestavěnému testovacímu kotouči – základně přístroje. Rychlost zvuku v oceli je kolem 5918 m/s pro hliníkový materiál je to 6350 m/s. Základní nastavení ultrazvukových tloušťkoměrů se liší dle výrobce a nulovací sondy. Vždy je nutné si přečíst a seznámit se s návodem daného tloušťkoměru výrobce.



Obrázky č. 4 a č. 5: Nulování ultrazvukového tloušťkoměru k vestavěné měřce



Obrázek č. 6: Kontrola na koncovou měřku 4 mm, odečtená hodnota je 4,01 mm.

9.2 Měření chyby přístroje ultrazvukového tloušťkoměru

Ke zjištění chyby přístroje se použije sada koncových měrek s konečnou přesností dle kalibračního listu. Sada je sestavena tak, aby pokrývala obvyklý rozsah měřených tloušťek a také podstatnou část měřicího rozsahu přístroje. Přístrojem se zpravidla měří tloušťka nádob, trubek a jednostranně měřená délka.



Obrázek č. 7: Měření chyb ultrazvukového tloušťkoměru

Na každou koncovou měрку se postupně přiloží měřicí sonda se „spojovací kapalinou“ a provede se na něm např. 10 měření rozložených po funkční ploše koncové měřky.



Obrázek č. 8: Nanesení sonické kapaliny

Může se stát, že mezi sondou a koncovou měrkou bude malá vrstva „spojovací tekutiny“, což může vést k náhodné chybě měření. Pokud se opakované měření a jejich chyby opakují je nutné očistit kontakt od přebytečné „spojovací tekutiny“.



Obrázek č. 9: Měření chyb ultrazvukového tloušťkoměru

Výsledky jednotlivých měření se zapisují do záznamu o kalibraci. Měření se postupně opakuje na celé zvolené sadě koncových měrek. Pro jednu zvolenou koncovou měrku vždy 10 hodnot. Naměřené hodnoty se v záznamu o měření zapisují do tabulky v MS Excel, kterým lze vyhodnotit změřené hodnoty a jejich směrodatnou odchylku následně i rozšířenou nejistotu kalibrace.

Kalibrace ultrazvukového tloušťkoměru a odečítání měřené chyby se provádí ve čtyřech až deseti měření ve zvolené vzdálenosti. Z měření se určí střední hodnota měřené tloušťky ultrazvukového tloušťkoměru, směrodatná odchylka a nejistota kalibrace vzorku podle vztahu pro více násobná měření. Nejistota ze statistiky měřených hodnot:

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Kromě výpočtu nejistoty kalibrace z opakovaných měření, slouží směrodatná odchylka také k hodnocení kvality kalibrace.

Zvolená hodnota	Nejistota etalonu	Měřené hodnoty										Průměrná hodnota
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,7	0,17	1,77	1,79	1,77	1,76	1,77	1,78	1,77	1,76	1,79	1,77	1,77
5	0,18	5,02	5,01	5,03	5,05	5,04	5,04	5,03	5,02	5,01	5,02	5,03
6	0,18	6,01	6,02	6,01	6,02	6,04	6,05	6,05	6,04	6,03	6,03	6,03
9	0,19	9,001	8,99	9,01	9,01	9,01	9,03	9,02	9,01	9,02	9,01	9,01
10	0,19	10,01	10,02	9,99	9,99	10,02	10,04	10,03	10,02	10,03	10,02	10,02
10,3	0,19	10,33	10,33	10,34	10,35	10,33	10,33	10,34	10,34	10,33	10,35	10,34
20	0,20	20,04	20,05	20,04	20,03	20,04	20,05	20,04	20,05	20,04	20,02	20,04
30	0,22	30,02	30,04	30,07	30,05	30,06	30,07	30,06	30,05	30,04	30,04	30,05
50	0,26	50,54	50,56	50,55	50,54	50,53	50,54	50,54	50,56	50,52	50,51	50,54

Tabulka č. 1: Záznam kalibrace ultrazvukového tloušťkoměru

Zvolená hodnota	Nejistota Etalonu U_E	Směrodatná odchylka	Nejistota Měření u_A	Dovolená chyba	Střední hodnota chyby	Nejistota U rozšířená
1,7	0,0001729	0,010	0,006	$\pm 0,01$	+0,07	$\pm 0,02$
5	0,0001785	0,013	0,008	$\pm 0,01$	+0,03	$\pm 0,03$
6	0,0001802	0,014	0,009	$\pm 0,01$	+0,03	$\pm 0,03$
9	0,0001853	0,010	0,007	$\pm 0,01$	+0,01	$\pm 0,02$
10	0,000187	0,016	0,010	$\pm 0,01$	+0,02	$\pm 0,03$
10,3	0,0001875	0,008	0,005	$\pm 0,01$	+0,04	$\pm 0,02$
20	0,000204	0,009	0,006	$\pm 0,01$	+0,04	$\pm 0,02$
30	0,000221	0,015	0,009	$\pm 0,01$	+0,05	$\pm 0,03$
50	0,000255	0,015	0,010	$\pm 0,01$	+0,54	$\pm 0,03$

Tabulka č. 2: Hodnocení kalibrace ultrazvukového tloušťkoměru

10 Vyhodnocení kalibrace

10.1 Postup vyhodnocení

Měřené hodnoty, resp. úchyly od jmenovité hodnoty se zanesou do záznamu o kalibraci, resp. do kalibračního listu. Zjištěné úchyly zvětšené o rozšířenou nejistotu měření U se porovnají s celkovými dovolenými chybami. Dovolené chyby návodu výrobce MPE například $\pm 0,5\%$ MH - měřené hodnoty nebo jeden dílek.

Hodnota etalonu \pm nejistota $E_{(mm)} \pm U_{E(\mu m)}$ mm	Střední měřená hodnota \pm nejistota z 10 měření $X \pm U_A$ (mm)	Chyba měřidla \pm nejistota měření $(X-E) \pm \sqrt{(U_{(A)}^2 + U_{(Ev)}^2)}$ mm	Chyba dovolená výrobcem MPE = $\pm(1 \text{ dílek})$ mm
1,7 \pm 0,17 μm	1,77 \pm 0,006	+ 0,07 \pm 0,02	\pm 0,01
5 \pm 0,18 μm	5,03 \pm 0,008	+ 0,03 \pm 0,03	\pm 0,01
6 \pm 0,18 μm	6,03 \pm 0,009	+ 0,03 \pm 0,03	\pm 0,01
9 \pm 0,19 μm	9,01 \pm 0,007	+ 0,01 \pm 0,02	\pm 0,01
10 \pm 0,19 μm	10,02 \pm 0,010	+ 0,02 \pm 0,03	\pm 0,01
10,3 \pm 0,19 μm	10,34 \pm 0,005	+ 0,04 \pm 0,02	\pm 0,01
20 \pm 0,20 μm	20,04 \pm 0,006	+ 0,04 \pm 0,02	\pm 0,01
30 \pm 0,22 μm	30,05 \pm 0,009	+ 0,05 \pm 0,03	\pm 0,01
50 \pm 0,26 μm	50,54 \pm 0,010	+ 0,54 \pm 0,03	\pm 0,01

Tabulka č. 3: Vyhodnocení na kalibračním listu

10.2 Postup v případě neshody

V případě, že ultrazvukový tloušťkoměr nevyhovuje včetně rozšířené nejistoty měření požadavkům normy, předpisu výrobce nebo požadavku zákazníka, označí kalibrační laboratoř měřidlo jako nevyhovující a předá zadavateli kalibrace odděleně od vyhovujících měřidel.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025 a jejího článku 5.10 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list. Pokud nelze s ohledem na nejistotu měření jednoznačně prohlásit shodu nebo neshodu se specifikací, je nejlepší formou uvádění výsledků kalibrační tabulka a (nebo) kalibrační graf.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo ultrazvukového tloušťkoměru,
- e) datum přijetí ultrazvukového tloušťkoměru ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 1.1.7/02/16),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použita při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, číslo laboratoře a odkaz na osvědčení o akreditaci. Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v kalibrační kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovat jej.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Při stanovení nejistoty kalibrace ultrazvukového měřidla tloušťky materiálu se vychází z nejistoty použitého etalonu koncové měrky a z nejistoty z opakovaných měření, která se provedou zkoušeným přístrojem na tomto etalonu. V příkladu uvažujeme etalon koncových měrek s danou přesností a nejistotou jmenovité hodnoty 10 mm.

Nejistota etalonu délky koncových měrek je daná z kalibračního listu, kde je vyjádřena vzorcem a platná pro rozšiřující koeficient $k = 2$ normálního rozdělení. Nastavení nulového bodu na koncovou měrku nebo na nulovací bod přístroje. Na kalibrovaném etalonu tloušťky materiálu představují koncové měrky, provedeme 10 měření rozložených v pracovní oblasti. Z těchto měření se určí střední hodnota a nejistota z opakovaných měření u_A , pro měření na měrce 10 mm:

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - X_i)^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \frac{0,016}{\sqrt{10}} = 0,01 \text{ mm} \tag{1}$$

Veličina - zdroj nejistoty		Meze nejistot	Typ rozdělení	Dílčí nejistota	Koefic. citlivosti	Příspěvek k nejistotě
Nejistota z opakovaných měření $u_A = 10 \mu\text{m}$; 10 měření	u_A	10 μm	normální $k = 1$	10 μm	1	10 μm
Etalon délky $L = 0,010 \text{ mm}$, nejistota koncové měrky $\pm(0,17 + 1,7 \cdot L) \mu\text{m}$	l_e	0,187 μm	normální $k = 2$	0,094 μm	1	0,094 μm
Nastavení počátku - odhad mezní chyby 10 μm	l_{d0}	10 μm	rovnoměr. $\sqrt{3}$	6 μm	1	6 μm
Výsledná chyba měření ultrazvukového tloušťkoměru pro měřenou délku 10 mm	l_x	Nejistota kalibrace u pro $k = 1$				11,6 μm
		Rozšířená nejistota kalibrace U pro $k = 2$, pokryje 95% pravděpodobnost				2,4 μm
		Uvádění nejistoty k výsledku kalibrace				$\pm 30 \mu\text{m}$

Tabulka č. 4: Zdroje nejistot kalibrace ultrazvukového tloušťkoměru

Do nejistoty etalonu lze zahrnout také nejistotu rychlosti šíření zvuku v materiálu etalonu.

Rozšířená nejistota kalibrace ultrazvukového tloušťkoměru na tloušťce etalonové měrky 10 mm je $\pm 0,03 \text{ mm}$, což bylo již spočteno v pátém sloupci tabulky 4.

Postup předpokládá využití tabulkového kalkulátoru, (např. EXCEL), kde je možno v uvedených tabulkách spočítat výsledek a vyhodnotit nejistoty automaticky v průběhu měření.

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 5.4. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).